

**UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA**  
**DEPARTAMENT DE MECÀNICA DE FLUIDS.**  
**E.T.S.E.I.T. Colón 7-11 TERRASSA.**

**SERVOPOSICIONADOR**  
**ELECTRO-OLEOHIDRÀULICO PARA UNA MÁQUINA**  
**DE ELECTROEROSIÓN.**

TESIS DOCTORAL

Presentada por:

**JOSEP M<sup>a</sup> BERGADÀ I GRAÑÓ**

Dirigida por:

**ESTEVE CODINA MACIÀ**

Terrassa - Junio 1996

**SERVOPOSICIONADOR  
ELECTRO-OLEOHIDRÁULICO PARA UNA MÁQUINA  
DE ELECTROEROSIÓN.**

**TESIS DOCTORAL**

Presentada para la obtención del  
**GRADODEDOCTORINGENIEROINDUSTRIAL**

**Dedico aquest treball a la Meva família,  
dels quals he rebut constantment el seu afecte *ý* suport.**

Quiero agradecer al **Prof. Esteve Codina Macià**, director de esta Tesis Doctoral, su dedicación, esfuerzo y constancia en la dirección de dicha tesis, sin los cuales no se hubiese podido realizar dicho trabajo.

I'm very grateful to **Prof. John Watton** from Cardiff University UK for his help and advise during the Ressearch I developed under his supervision.

Agradezco también al Departamento de Mecánica, de la ETSEIT, en concreto a los profesores **Prof. L. Alvarez, R. Capdevila, y M. Khamastha**, su ayuda y material prestado durante la realización de la tesis.

Quiero dar también mi más sincero agradecimiento a los diversos profesores y compañeros de mi propio departamento que me han apoyado en este período.

Agradezco a la empresa **Ferromecánica**, y especialmente al **Sr. Ramón Balcells**, toda la ayuda que he recibido durante la realización de la tesis.

Asimismo quiero agradecer a todo el personal de la empresa **MOOG S.A. Orio** y muy en especial al **Ing. Juan Carlos Molinero** su inestimable colaboración en la ejecución de las pruebas que allí se realizaron. Hago extensivo mi agradecimiento a la empresa **MOOG S.A. UK**.

He de destacar también la ayuda que he recibido del personal no docente tanto de mi departamento como del departamento de mecánica, y muy en especial al **Sr. Justo Zoyo y al Sr. Santiago Jimenez**.

Del departamento de Ingeniería Eléctica quiero agradecer al **Prof.. Ignacio Candela** la ayuda prestada en el entendimiento de los motores dee par.

La lista de personas no relacionadas con la Universidad y de las cuales he recibido su afecto, es enorme, a todas ellas les reitero mi más sincero afecto, destacaré de entre todas ellas, a **Gemma**, puesto que su apoyo ha sido constante y firme durante todos los años que nos conocemos.

Seltem trifft man die perfect Frau, Ich persönlich habe nur einmal solche frau getroffen, und obwohl ich serh kurtz mit sie gelebt habe, sie ist schon in mein Herz.

Ich habe viel von dir gelernt Heike Sakowski.

ÍNDICE.

I

	Pag.
<b>CAPÍTULO 1.</b>	
1.1 Introducción.	1
1.2 Funcionamiento máquina de electroerosión.	5
1.3 Irregularidades de funcionamiento.	7
1.4 Experiencias previas.	7
1.5 Objetivos de la tesis.	13
<b>CAPÍTULO 2.</b>	
2.1 Introducción a las Servoválvulas.	14
2.1.1 Actuador eléctrico.	14
2.1.2 Amplificador oleohidráulico.	17
2.2 Las servoválvulas de cuatro toberas y dos paletas.	22
2.3 Caracterización experimental de la servoválvula Moog.	26
2.4 Estado del arte.	29
2.4.1 Servoválvulas de cuatro toberas y dos paletas.	29
2.4.2 Otros trabajos.	31
2.5 Conclusiones.	35
<b>CAPÍTULO 3.</b>	
3.1 Sistema paleta tobera.	36
3.1.1 Generalidades.	36
3.1.2 Definición de coeficiente de descarga.	39
3.1.3 Características constructivas.	40
3.2 Estado del arte.	44
3.3 Determinación experimental de los coeficientes de descarga del sistema tobera paleta.	48
3.3.1 Resultados experimentales.	48
3.3.2 Conclusiones.	54
3.4 Modelización bidimensional del flujo en un sistema tobera paleta.	56
3.4.1 Introducción.	56
3.4.2 Software utilizado.	56
3.4.3 Ecuaciones básicas.	57
3.4.3.1 Resolución de las ecuaciones para flujo laminar.	61
3.4.3.2 Resolución de las ecuaciones para flujo turbulento.	61
3.4.3.3 Modelos de cierre.	63
3.4.3.3.1 Modelo de turbulencia K- $\epsilon$ .	63
3.4.3.3.2 Modelo de tensiones de Reynolds (RSM).	65
3.4.3.3.3 Constantes empíricas.	67
3.4.4 Modelos realizados.	68
3.4.4.1 Discretización del dominio.	69
3.4.4.2 Resultados de la modelización.	71
3.4.4.3 Estudio comparativo.	79
3.5 Comparación de los coeficientes de descarga experimentales y los estimados via modelización.	87
<b>CAPÍTULO 4.</b>	
4.1 Introducción.	93
4.2 Características del conjunto servoválvula.	93
4.3 Motor de par.	94

4.3.1	Análisis del motor de par.	95
4.3.2	Parámetros funcionales y geométricos del motor de par.	100
4.4	Amplificador oleohidráulico. (Sistema toberas-paletas).	102
4.4.1	Fuerzas de flujo que actúan sobre la paleta cuando el flujo es saliente.	102
4.4.2	Fuerzas de flujo que actúan sobre la paleta cuando el flujo es entrante.	105
4.4.3	Fuerzas resultantes debidas al flujo que actúa sobre las paletas.	105
4.4.3.1	Configuración definida por Williams.	106
4.4.3.2	Configuración de flujo Moog 92.	109
4.5	Conjunto armadura.	111
4.6	Resortes tubo flexible y muelles de centraje.	112
4.7	simulación por ordenador del comportamiento del conjunto servoválvula / actuador lineal.	113
4.7.1	Introducción.	113
4.7.1.1	Elementos básicos del diagrama de enlaces.	115
4.7.2	Simulación del conjunto servoválvula actuador lineal.	116
4.7.3	Simulación del comportamiento estático de la servoválvula.	121
4.7.4	Simulación del comportamiento dinámico de la servoválvula.	124
CAPÍTULO 5.		
5.1	Oscilaciones automantenidas.	127
5.1.1	Clasificación.	128
5.1.2	Breve resumen cronológico.	129
5.1.3	Comentarios sobre las oscilaciones automantenidas en chorros que inciden sobre un contorno sólido, (oscilaciones tipo edge-tone).	131
5.1.4	Comentarios sobre las oscilaciones automantenidas, flujo resonador.	136
5.2	Resultados experimentales.	139
5.2.1	Resultados experimentales con relación a la configuración número 1.	140
5.2.2	Resultados experimentales con relación a la configuración número 2.	147
5.2.3	Resultados experimentales con relación a la configuración número 3.	150
5.2.4	Interpretación de los resultados experimentales.	152
CAPÍTULO 6.		
6.1	Conclusiones.	154
ANEXOS.		
Anexo 1.	Programa para hallar las curvas características teóricas expuestas en el capítulo segundo.	158
Anexo 2.	Momento de inercia de la armadura respecto su eje central.	162

Anexo 3. Cálculo de la frecuencia natural del sistema armadura paletas. Masa reducida.	170
Anexo 4. Cálculo de las constantes de los muelles y el par que estos crean.	174
Anexo 5. Fotografías de algunos de los equipos utilizados.	183
REFERENCIAS	187



- $a$  = Brazo de palanca de la armadura.
- $A$  = Area de los espacios de aire perpendicular a las líneas de flujo.
- $A'$  = Área del pistón.
- $B$  = Densidad de flujo en los espacios de aire.
- $C_c$  = Coeficiente de contracción.
- $C_v$  = Coeficiente de velocidad.
- $C_d$  = Coeficiente de descarga.
- $C_p$  = Calor específico a presión constante.
- $d$  = Diámetro de la tobera.
- $D_{i,m}$  = Coeficiente de difusión para la especie  $i$ ésima.
- $E$  = Módulo de elasticidad del material.
- $f$  = Frecuencia.
- $F$  = Fuerza.
- $F_i$  = Fuerzas externas al volumen de control.
- $g$  = Fuerza de gravedad.
- $G_k$  = Ratio de producción de la energía cinética turbulenta.
- $h$  = Entalpía.
- $i$  = Intensidad.
- $\Delta i$  = Variación de intensidad.
- $K'$  = Conductividad térmica.
- $K$  = Energía cinética turbulenta.
- $K_a$  = Ganancia del amplificador.
- $K_Q$  = Ganancia de caudal de la servoválvula.
- $K_p$  = Ganancia de presión de la servoválvula.
- $K_x$  = Ganancia del captador de posición.
- $K_t$  = Constante de par del motor de par.
- $K_m$  = Constante magnética del motor de par.
- $l$  = longitud de la viga.
- $M$  = Masa en el extremo de la viga.
- $m_i$  = Masa de la especie  $i$ ésima.
- $M_o$  = Fuerza magnetomotriz total de los imanes permanentes.

- $M_d$  = Momento neto desarrollado por el motor de par.  
 $N_c$  = Número de espiras de cada una de las bobinas del motor eléctrico.  
 $P$  = Presión.  
 $\Delta P$  = Incremento de presión.  
 $\Delta P_{nr}$  = Incremento de presión en una sección de paso fija.  
 $\Delta P_{pt}$  = Incremento de presión en el conjunto sección de paso fija y variable.  
 $P_o$  = Presión en las líneas A y B cuando la paleta está en su posición central.  
 $P_A$  = Presión en la línea A.  
 $P_B$  = Presión en la línea B.  
 $P_e$  = Presión a la entrada del sistema.  
 $P_t$  = Presión a la salida del sistema.  
 $P_p$  = Presión en la zona de flujo estático de la tobera.  
 $Q$  = Caudal.  
 $QT1, QT2, QT3, QT4$  = Caudal que atraviesa las toberas 1,2,3,4.  
 $R$  = Fuerza resultante.  
 $Re$  = Número de Reynolds.  
 $R_1$  = Reluctancia en los espacios de aire 1 y 3.  
 $R_2$  = Reluctancia en los espacios de aire 2 y 4.  
 $S$  = Superficie de paso del fluido.  
 $S_h$  = Término que incluye las fuentes de entalpia debidas a reacciones químicas, e intercambio de calor por radiación.  
 $St$  = Número de strouhal.  
 $T$  = Tanque.  
 $T1, T2, T3, T4$  = Toberas 1,2,3,4.  
 $T_{ref}$  = Temperatura de referencia.  
 $t$  = Distancia armadura imán permanente cuando la armadura está en posición central.  
 $U_i$  = Velocidad del fluido en la dirección  $i$ ésima.  
 $V_o$  = Tensión de referencia.  
 $V$  = Tensión.  
 $V$  = Velocidad.  
 $X_o$  = Distancia tobera paleta en posición central.  
 $X$  = Desplazamiento de la paleta respecto su posición central.

- $X_i$  = Distancia tobera paleta.  
 $Y$  = Desplazamiento de la armadura respecto su posición central.  
 $\beta$  = Modulo de compresibilidad del aceite.  
 $\rho$  = Densidad.  
 $\theta$  = Ángulo girado por la armadura.  
 $\theta'$  = Ángulo del cono de la tobera.  
 $\nu$  = Viscosidad cinemática.  
 $\mu$  = viscosidad dinámica.  
 $\mu_t$  = Viscosidad dinámica turbulenta.  
 $\mu_{\text{eff}}$  = Viscosidad dinámica efectiva.  
 $\mu_o$  = Permeabilidad del aire.  
 $\tau_{ij}$  = Tensor de tensiones.  
 $\Phi$  = Cantidad escalar que se conserva.  
 $\Phi_1$  = Flujo magnético en los espacios de aire 1 y 3.  
 $\Phi_2$  = Flujo magnético en los espacios de aire 2 y 4.  
 $\Phi_g$  = Flujo magnético en los espacios de aire para la armadura en posición central.  
 $\Phi_p$  = Flujo magnético que pasa por el imán permanente.  
 $\Phi_c$  = Flujo debido a la intensidad diferencial.  
 $\Phi_a$  = Flujo magnético que pasa por la armadura.  
 $\delta_{ij}$  = Delta de Kroeneker.  
 $\epsilon$  = Ratio de disipación de la energía cinética turbulenta.  
 $\sigma_k, \sigma_\epsilon$  = Números de Prandtl que gobiernan la difusión turbulenta.  
 $\sigma_m$  = Número de Schmidh.  
 $\sigma_h$  = Número de Prandtl.

## **CAPÍTULO 1. MAQUINAS DE ELECTROEROSIÓN.**

### **1.1.-INTRODUCCIÓN**

Esta tesis doctoral centra su atención en el funcionamiento anómalo de una máquina de electroerosión. En concreto por la aparición de unas vibraciones audibles bajo ciertas condiciones de trabajo.

Las máquinas de electroerosión son máquinas de mecanizado no convencional que surgen de la necesidad de optimizar el mecanizado de piezas de geometría complicada. La electroerosión produce en las piezas tratadas una acción abrasiva semejante en cierto modo a la acción erosiva de los granos de una muela, si bien, con la diferencia de que el calor producido por el arco eléctrico sustituye la acción de los granos abrasivos. La electroerosión permite realizar entre otras piezas, matrices de estampación, hileras de estirado y trefilado de formas complicadas, etc. Siendo adecuada además para mecanizar metales o aleaciones de gran dureza.

En la figura 1, se muestra una parte del carter de un motor, y el electrodo de electroerosión utilizado para mecanizarlo.

De las dos configuraciones de máquinas de electroerosión que existen, denominadas de hilo, y de electrodo, nosotros nos vamos a referir a las máquinas de electroerosión del tipo electrodo. En la figura 2 se muestra un esquema de este tipo de máquina, en la cual el movimiento vertical del electrodo se controla mediante un servoposicionador.

En nuestro caso el servoposicionador está constituido por un servoactuador oleohidráulico simétrico, accionado por una servoválvula de dos toberas y cuatro paletas de altas prestaciones.

La mayoría de estas máquinas operan bajo el mismo principio. Una corriente causa una descarga eléctrica entre la pieza de trabajo cargada positivamente y el electrodo o herramienta de trabajo cargada negativamente. La descarga eléctrica es la responsable de la mecanización de la pieza. Esta operación se realiza estando la pieza de trabajo inmersa en un fluido dieléctrico, cuya misión es la de estabilizar el arco eléctrico y refrigerar la pieza de trabajo, arrastrando al mismo tiempo las partículas de material arrancado, figura 3.

Las características de mecanizado y la rugosidad de la superficie mecanizada dependen en gran medida de la precisión y estabilidad del servoposicionador.

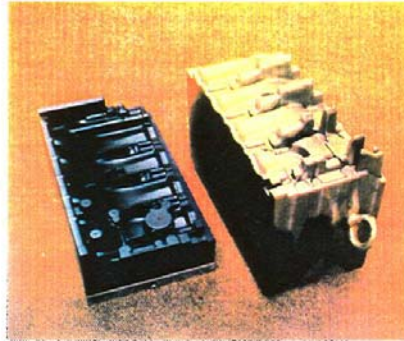


Fig. 1 Parte del carter de un motor mecanizado mediante una máquina de electroerosión.

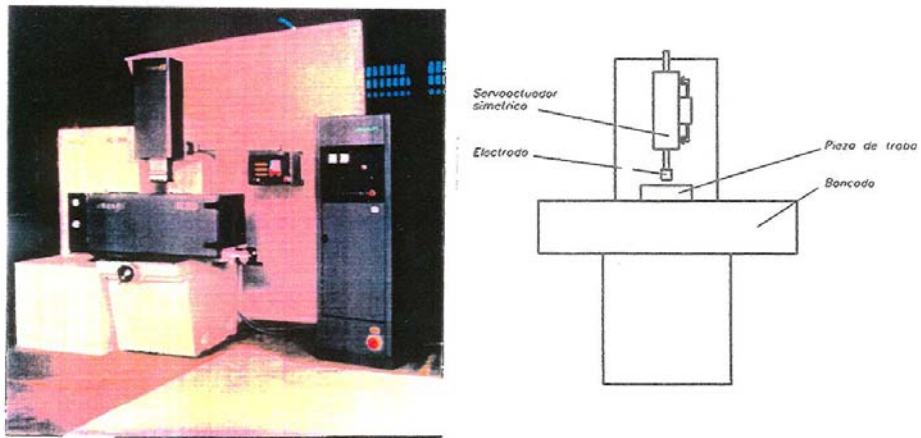


Fig. 2 Esquema de una máquina de electroerosión.

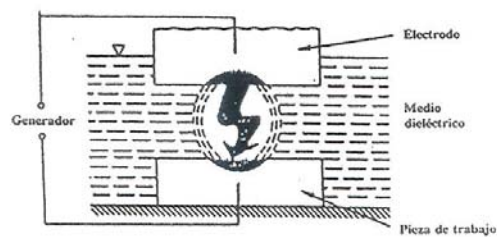


Fig. 3 Principio básico de funcionamiento de una máquina de electroerosión.

El circuito del sistema de transmisión de energía oleohidráulica que gobierna los movimientos del electrodo de la máquina de electroerosión se muestra en la figura 4. En las tablas 1 y 2 se resumen las características principales de dichos elementos.

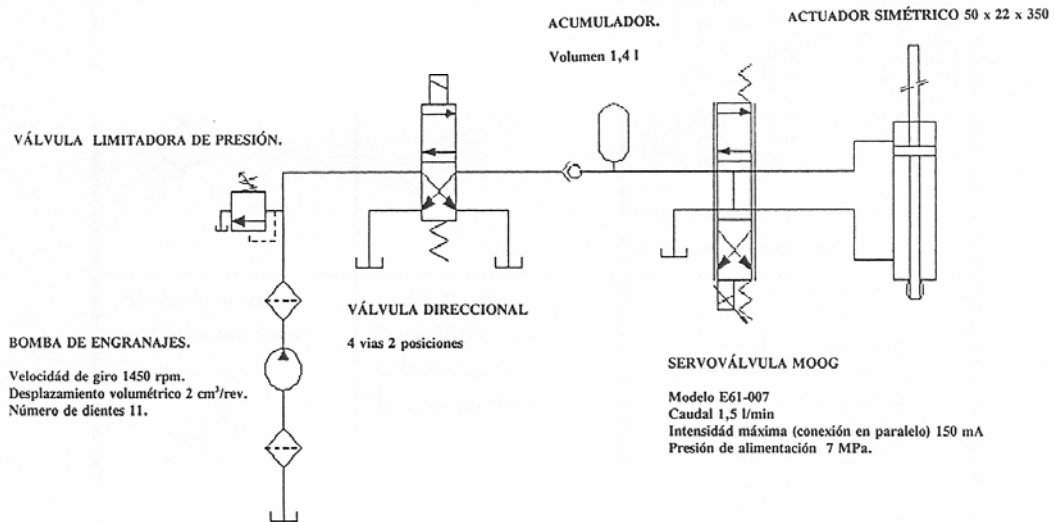

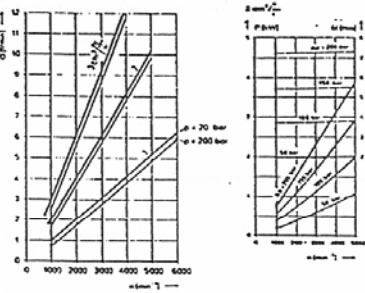
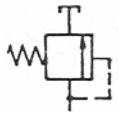
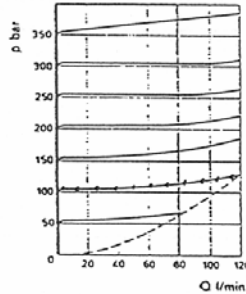
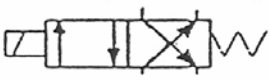
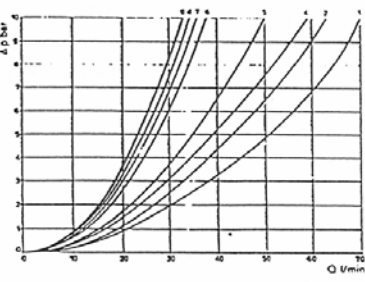


Fig. 4 Circuito de transmisión de energía oleohidráulica de una máquina de electroerosión.

TABLA 1  
SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE ENERGÍA OLEOHIDRÁULICA.

ELEMENTO	CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES.	CURVAS CARACTERÍSTICAS.
<p>Bomba de engranajes externos.</p> 	<p>Capacidad volumétrica: <math>C_v = 2 \text{ cm}^3/\text{rev.}</math> Velocidad de giro: <math>n = 1450 \text{ rpm.}</math></p>	 <p>Curvas de caudal, potencia y par en función de las revoluciones.</p>
<p>Válvula limitadora de presión de acción directa.</p> 	<p>Presión de taraje: <math>P_T = 10 \text{ MPa.}</math> Caudal máximo: <math>Q_{\text{max}} = 120 \text{ l/min.}</math></p>	
<p>Válvula direccional 4 vías dos posiciones.</p> 	<p>Caudal que circula por cada vía cuando la diferencia de presión entre entrada y salida es de 1 MPa. <math>Q_{PA} = Q_{PB} = Q_{BT} = 60 \text{ l/min.}</math> <math>Q_{AT} = 50 \text{ l/min.}</math></p>	 <p>Curva 4; <math>Q_{PA} = Q_{PB} = Q_{BT}</math>. Curva 5; <math>Q_{AT}</math>.</p>



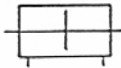
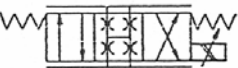
<p>Acumulador de vejiga de goma.</p> 	<p>Capacidad: 1,4 litros Presión de precarga: <math>P_{pre} = 7 \text{ MPa}</math>.</p>	
<p>Filtros</p> 	<p>Conducto aspiración: 20 Micras. Conducto impulsión: 10 Micras.</p>	

TABLA 2  
CONJUNTO SERVOACTUADOR.

ELEMENTO.	CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES.	CURVAS CARACTERÍSTICAS.
<p>Actuador lineal simétrico de doble efecto.</p> 	<p>Dimensiones: 50 x 22 x 350. Equipado con juntas de bajo rozamiento.</p>	
<p>Servoválvula de una etapa, con dos toberas y cuatro paletas.</p> 	<p>Características estáticas: Caudal nominal: 1,5 l/min. Corriente máxima: (conexión en paralelo) = 150 mA. Características dinámicas: Tiene una respuesta en frecuencia de 400 Hz cuando el ángulo de desfase es de <math>-90^\circ</math>.</p>	<p>ver capítulo 2.</p>

## 1.2.-FUNCIONAMIENTO DE LA MÁQUINA DE ELECTROEROSIÓN.

Las secuencias funcionales de la mayoría de las máquinas de mecanizado tienen en consideración dos rangos de velocidades: la velocidad de aproximación y la velocidad de mecanizado. En las máquinas de electroerosión esta distinción es mucho más acusada.



La velocidad de aproximación, es la que se utiliza para desplazar el electrodo desde su posición de reposo hasta su posición de trabajo. En este caso, el servoaductor oleohidráulico opera en lazo abierto.

La segunda velocidad, que es considerablemente más lenta que la anterior, es la velocidad con la que el electrodo va dibujando el contorno de la pieza. El servoaductor oleohidráulico está controlado por un sistema de regulación en lazo cerrado.

En la figura 5 se presenta un esquema simplificado del circuito de realimentación empleado. Se puede observar que se compara la diferencia de tensión entre el electrodo y la pieza de trabajo con la tensión de referencia. La tensión diferencial resultante se introduce en la tarjeta electrónica, la cual suministra a la servoválvula una intensidad proporcional a dicha tensión de entrada. Teniendo en cuenta que el caudal que circula a través de la servoválvula es proporcional a la intensidad aplicada, podemos controlar el caudal que se dirige hacia el actuador y, por tanto, controlar la velocidad de movimiento del electrodo. Al desplazarse el actuador, variará la distancia entre el electrodo y la pieza de trabajo, con lo cual variará también la diferencia de tensión entre ambos, cerrándose de este modo el lazo de realimentación del sistema.

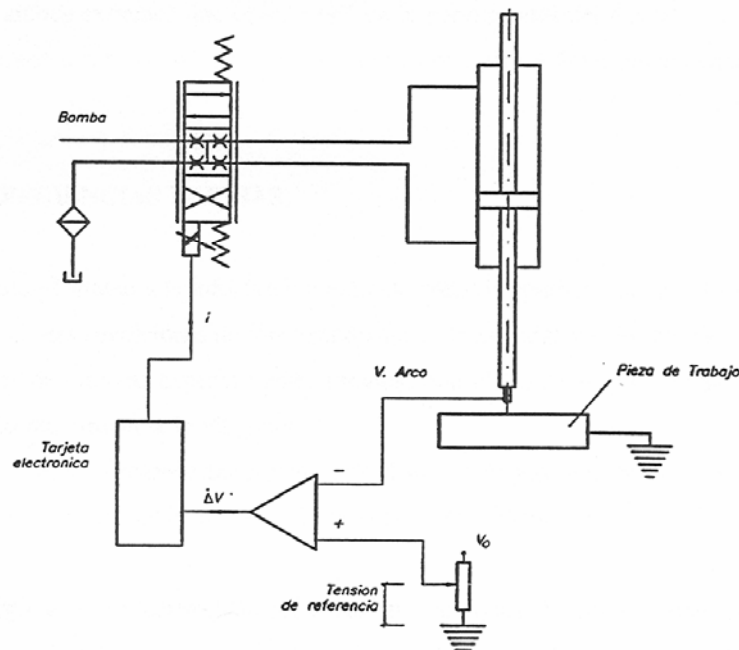


Fig. 5 Esquema de operación en lazo cerrado.

### 1.3 IRREGULARIDADES DE FUNCIONAMIENTO.

A pesar de las altas prestaciones conseguidas con la citada máquina de electroerosión, en términos de calidad de las piezas mecanizadas, hay que destacar la aparición de unas vibraciones audibles en ciertas condiciones de trabajo, básicamente cuando se producía el avance y retroceso rápidos del electrodo. (Velocidades del orden de 1,59 cm/s).

Del estudio in situ de esta vibración, se obtuvieron las siguientes conclusiones de funcionamiento.

- 1.- Las vibraciones audibles aumentan al aumentar la presión de alimentación.
- 2.-Las vibraciones audibles disminuyen y llegan a desaparecer al aumentar la temperatura del aceite.
- 3.-Las vibraciones audibles son más acusadas cuando el electrodo se desplaza en sentido ascendente y prácticamente desaparecen cuando el desplazamiento es en sentido descendente.
- 4.-La amplitud (intensidad) de las vibraciones audibles, es mayor cuando el actuador lineal está en ambos extremos que cuando está en la parte central del mismo.
- 5.-En condiciones normales de operación el ruido aparece únicamente cuando la intensidad de corriente suministrada a la servoválvula está entre el 30-45% de la intensidad máxima.

### 1.4 EXPERIENCIAS PREVIAS.

Como complemento a la información extraída sobre la aparición de las vibraciones audibles durante ciertas condiciones de funcionamiento de la máquina de electroerosión, se realizaron una serie de ensayos experimentales previos, con el fin de llegar a esclarecer cuál era el elemento que producía la vibración.

En esta fase, se consideró como prioritario disponer de una información precisa del espectro de las vibraciones audibles, para ello se realizó el montaje experimental que se muestra en la figura 6.

A lo largo de esta experimentación, se registraron las señales provenientes de un transductor de presión situado en el conducto de aceite a presión, la señal de intensidad que gobierna la servoválvula, la señal del acelerómetro situado sobre la carcasa del servoactuador, y la señal

proveniente de un sonómetro situado a la distancia de 1 m respecto la máquina. Estas señales fueron tratadas y visualizadas mediante un analizador de espectros.

En la figura 7, se muestran dos espectrogramas superpuestos: uno corresponde a la señal de intensidad cuando el cilindro se desplaza en sentido ascendente, y el otro cuando el desplazamiento del cilindro era en sentido descendente.

En estos espectrogramas destacan tres picos de frecuencias 50 Hz, 262 Hz y 580 Hz respectivamente. Las dos primeras frecuencias tienen una fácil interpretación:

- 50 Hz. Corresponde a la frecuencia fundamental de la corriente eléctrica.
- 262 Hz. Corresponde a la frecuencia fundamental de la pulsación del caudal impulsado por la bomba de engranajes.

$$f = \frac{n}{60} z = \frac{1450}{60} \frac{\text{cycles}}{\text{sec}} 11 \text{ dientes} = 265 \text{ Hz} \quad (1)$$

- 580 Hz. No tiene una explicación inmediata. Lo que si parece evidente es que las vibraciones se generan como consecuencia del funcionamiento del sistema de transmisión de energía oleohidráulico.

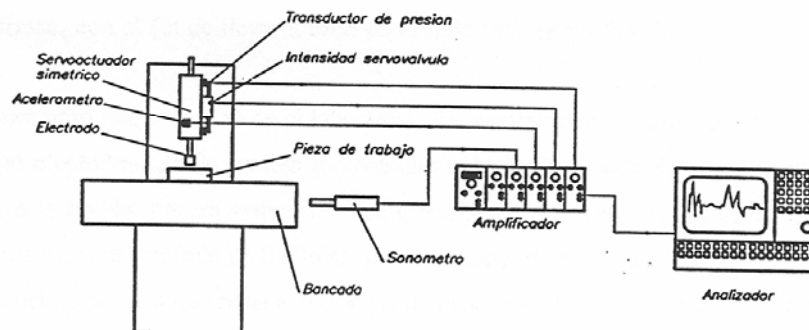


Fig. 6 Esquema de la máquina de electroerosión y del equipo utilizado para realizar las mediciones in situ.

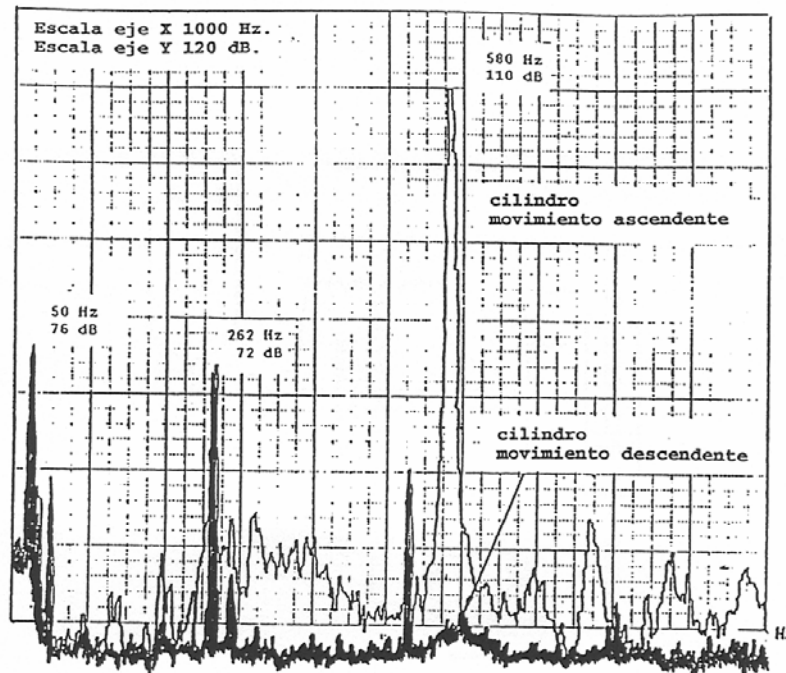


Fig. 7 Espectrogramas obtenidos para desplazamiento del cilindro en sentido ascendente y descendente.

Una vez confirmado que el origen de las vibraciones era debido al funcionamiento del sistema de transmisión de energía oleohidráulico (STEO), se decidió desmontar el STEO de la máquina de electroerosión y trasladarlo al Laboratorio de Mecánica de Fluidos del Campus de Terrassa, con el fin de llevar a cabo un estudio más en profundidad.

El primer paso que se realizó en el laboratorio fue averiguar si la vibración era inducida por el grupo oleohidráulico de presión (bomba más válvula limitadora de presión), para ello se sustituyó la bomba por un acumulador de grandes dimensiones, ver figura 8. Con ello se perseguía asegurar un flujo de fluido sin perturbaciones de presión. Un espectrograma típico de la señal de presión que reina a la entrada de la servoválvula se muestra en la figura 9. Se observa que persiste la frecuencia de 575 Hz y sus armónicos, y por contra ha desaparecido la frecuencia de 262 Hz correspondiente a las perturbaciones de la bomba.

Cabe destacar también la amplitud del pico correspondiente a la frecuencia alrededor de 2300 Hz que a priori se corresponde al tercer armónico de la frecuencia fundamental detectada 575 Hz, y que consideramos de amplitud muy superior a la esperada si la comparamos con la amplitud del segundo armónico. Este fenómeno tampoco tiene una explicación inmediata.

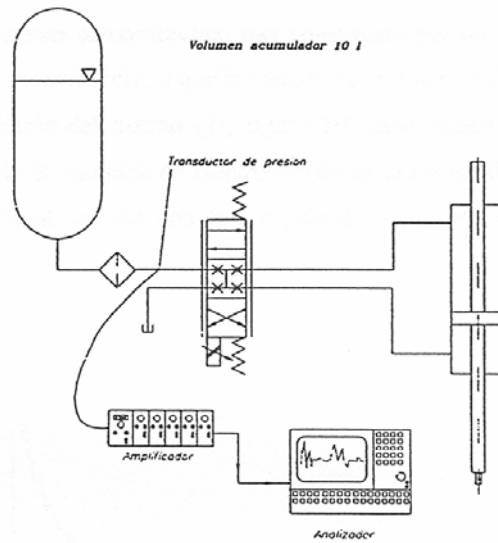


Fig. 8 Circuito utilizado para averiguar si las perturbaciones de presión eran causadas por las pulsaciones originadas en la bomba de desplazamiento positivo.

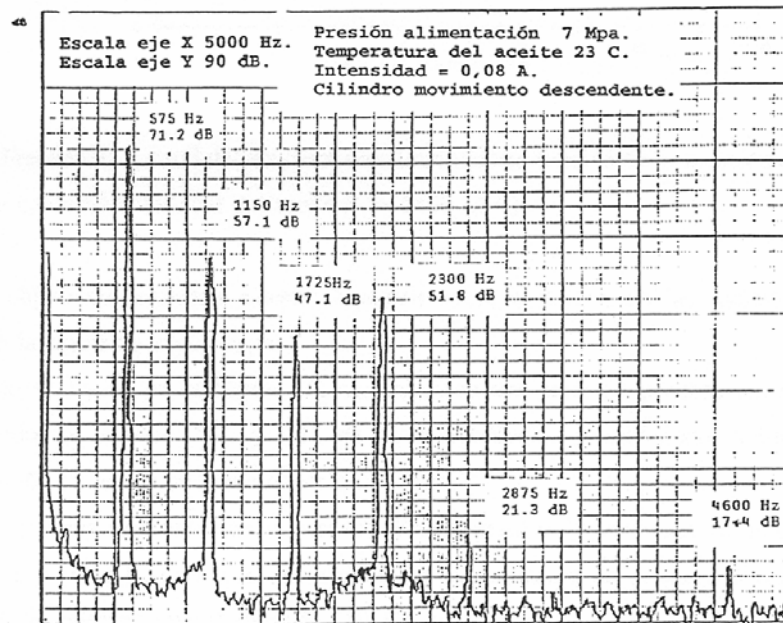


Fig. 9 Espectrograma obtenido con el equipo de la figura 8.

Puesto que el servosistema oleohidráulico está constituido por un actuador lineal simétrico de doble efecto y una servoválvula, y que la frecuencia propia de un actuador lineal simétrico es función de la posición del mismo (1), figura 10, cabe pensar que el componente que origina la vibración de la máquina de electroerosión es la servoválvula. Recordemos que a pesar de que la amplitud variaba con la posición del vástago, la frecuencia se mantenía constante e igual a 575 Hz.

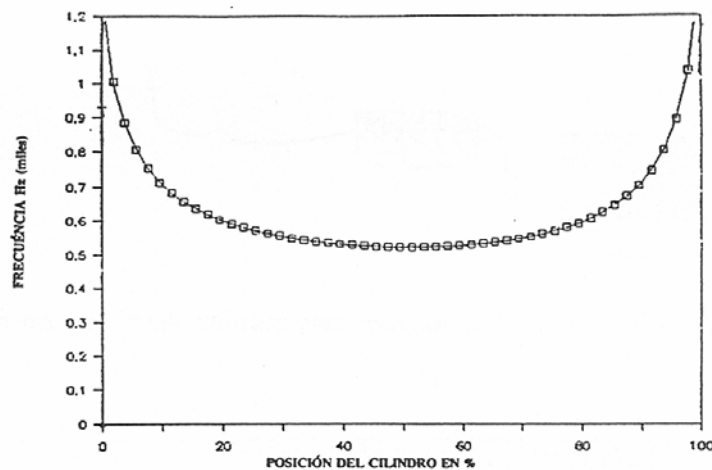


Fig. 10 Frecuencia natural del actuador oleohidráulico en función de la posición del cilindro. (Módulo de compresibilidad del aceite  $\beta = 1400$  MPa).

Con el objeto de reafirmar nuestra hipótesis sobre el origen de las inestabilidades, se planificó la siguiente experiencia:

Tal como se indica en la figura 11, se realizaron una serie de pruebas sin el actuador, bloqueando las salidas "A" y "B" de la servoválvula, y utilizando como fuente de alimentación de aceite un acumulador de 10 litros.

Con este sistema se obtuvieron los espectros de la señal de presión que se muestran en las figuras 12 a y 12 b, para dos intensidades de alimentación de la servoválvula. En estos espectros se observa que el pico de 580 Hz permanece, apareciendo además un pico de alrededor de 2200 Hz, que será también posteriormente objeto de estudio. Estos resultados confirman plenamente nuestras suposiciones.

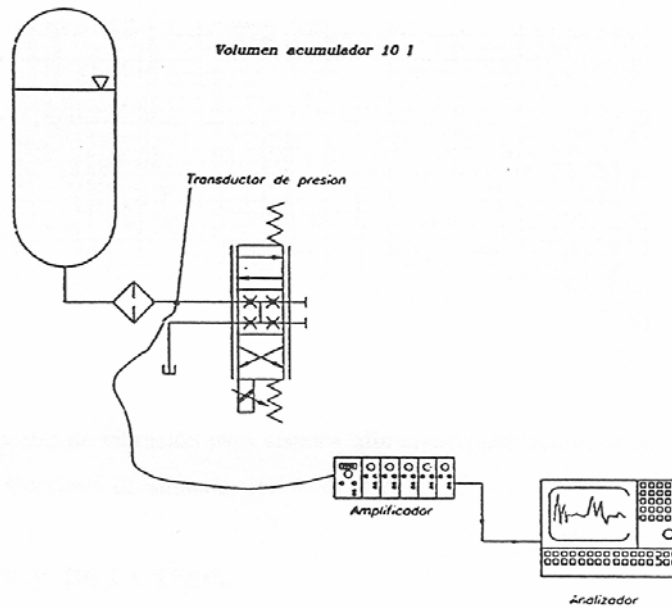


Fig. 11 Esquema del circuito utilizado para averiguar si la servoválvula era la causante de la vibración.

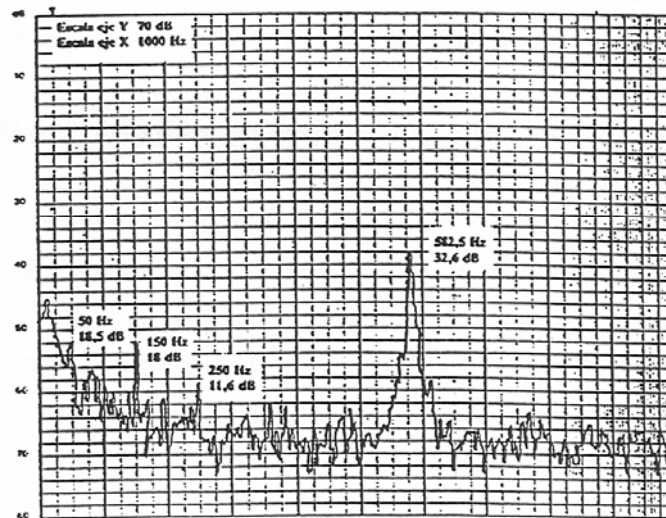


Fig. 12 a. Espectro de vibración para sistema alimentado por acumulador, el sistema lo forma únicamente la servoválvula. Intensidad de alimentación = 0,08 A.

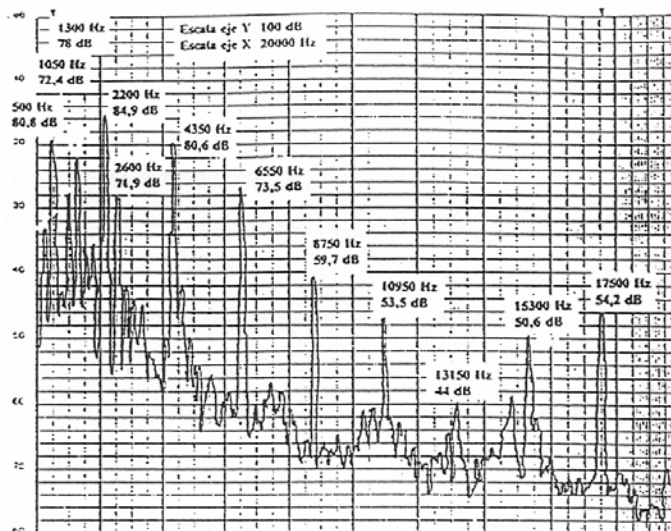


Fig 12 b. Espectro de vibración para sistema alimentado por acumulador, El sistema es la servoválvula. Corriente de alimentación = 0,14 A.

### 1.5.-OBJETIVOS DE LA TESIS.

El presente trabajo se circunscribe en el análisis del funcionamiento irregular del servosistema oleohidráulico que gobierna el movimiento vertical del electrodo de una máquina de electroerosión, con el fin de analizar el comportamiento de la servoválvula y profundizar en el conocimiento de los posibles fenómenos que pueden provocar las inestabilidades origen de las vibraciones audibles.

Visto el estado actual del problema se han previsto una serie de investigaciones que permitan:

- 1.- La caracterización fluidodinámica de los sistemas tobera paleta que forman parte del amplificador oleohidráulico. La caracterización se prevé realizarla via experimental, y mediante modelización por elementos finitos. En este punto cabe destacar el interés por conocer como varia el coeficiente de descarga cuando el flujo va de paleta a tobera.
- 2.- La modelización del comportamiento en régimen permanente y transitorio del conjunto servoválvula, incorporando la variación de los coeficientes de descarga con el número de Reynolds, así como la incorporación de los efectos elásticos, inerciales, y de amortiguación del sistema estructural.
- 3.- El análisis sistemático de las perturbaciones fluidodinámicas que provocan la inestabilidad en el funcionamiento de la servoválvula.